

ハイブリッドロータリ除雪車の開発

林 千 尋

近年、省エネルギー機械の需要が高まっており、建設機械においてもハイブリッド仕様の開発が盛んに行われている。しかし、比較的稼働台数の少ないロータリ除雪車に関しては、ほとんど開発は行われていない。

従来の小型ロータリ除雪車は、その作業内容や使用方法から、エンジン効率の悪い領域を多用しているため、ハイブリッド化によって大幅な燃費改善が可能なことがわかった。

開発した車両では、小型ロータリ除雪車にハイブリッドシステムを搭載し、発電用エンジンの小型化と高効率領域での運転、さらに回生エネルギーの回収を行うことによって大幅な燃費向上を実現した。

キーワード：除雪機械，省エネルギー，ロータリ除雪車，ハイブリッドシステム，低燃費，ニッケル水素バッテリー，モニタリングシステム

1. はじめに

近年、世界的に環境意識が高まっており、地球温暖化の防止、CO₂の排出量削減、さらには燃料価格の高騰を背景とし、ハイブリッド車や電気自動車などの低燃費、環境性能を特徴とした次世代車両が相次いで実用化されている。

産業用車両においても例外でなく、車両台数の多い油圧ショベルやフォークリフトなどではハイブリッド仕様が既に市場に投入されている。

これらの状況をふまえ、環境性能の向上と燃費向上を主目的とし、ハイブリッドシステムを搭載したロータリ除雪車の開発を行った。

2. ロータリ除雪車の運転モード

現状のロータリ除雪車のエンジン負荷と回転数の変化を把握するため、除雪作業時と回送時それぞれの状況を調査した。

(1) 除雪作業時

ロータリ除雪車の除雪作業は、車両前方に取り付けたらせん状のオーガによって雪塊を崩して掻き込み、その後方のブロワの遠心力によって路外やダンプトラックなどに投雪することにより行う。

ベースとした小型ロータリ除雪車の除雪作業時の負荷変動と回転数の一例を図-1に示す。

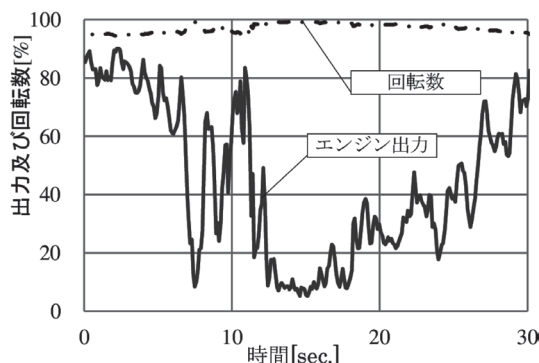


図-1 除雪作業時の負荷変動の例

作業時の車速は5 km/h未満とごく低速のため、エンジンの負荷は除雪作業によるものが大半を占める。また掻き込む雪の量によりその負荷が大きく変動するため、通常は即座に対応できるようにエンジンをフルスロットル付近に固定して作業を行っている。除雪作業中のエンジン出力は定格値の5～90%の間で大きく変動しているが、平均では35%程度にとどまる。

(2) 回送時

回送時に停止状態から最高速度まで加速して定常走行に移行したときの負荷変動の例を図-2に示す。

加速時に一時的に最大出力を必要とするものの、定常走行に移るとエンジンの出力は30%程度まで減少する。また、小型ロータリ除雪車の最高速度は40 km/hで、最高回転数付近を多用する事になる。

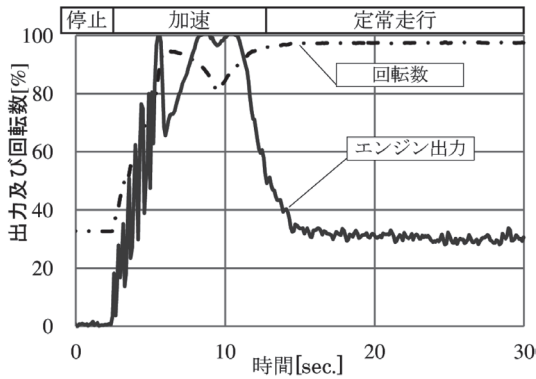


図-2 回送時の負荷変動の例

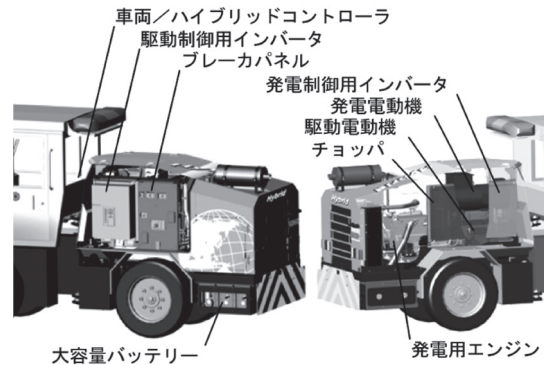


図-4 機器レイアウト

3. 燃費の向上

前述のとおり、小型ロータリ除雪車の平均的なエンジン負荷は、定格の30～35%程度にとどまり、かつ、定格回転数に近い高回転で運転される時間が非常に長いという特徴がある事がわかった。

しかし、一般的にエンジンの効率是一定負荷以上のほうが良いことから、小型ロータリ除雪車の運転状態では、エンジン効率の悪い領域を多用しているといえる。

従って、ハイブリッドシステムの搭載によってエンジンを高効率運転することで、燃費を大幅に改善できると考えた。

4. 開発車両の概要

図-3に開発車両の外観、図-4に機器レイアウト、表-1に主要諸元を示す。

150馬力(110kW)クラスの小型車両をベースとし、インバータやモータ、大容量バッテリーなどのハイブリッド機器を車両後部の機関室内に搭載した。また従来の車両のエンジンを駆動用モータに置き換えた構成とし、このモータによって除雪装置の駆動と車両の走



図-3 外観

表-1 主要諸元

		開発車両	ベース車両
全長	mm	6,070	5,680
全幅(除雪幅)	mm	1,800	
全高	mm	2,640	2,620
車両重量	kg	8,640	6,510
定員	名	2	
機関	定格出力 kW	70.1 ^{※1}	112.1
駆動用モータ	最大出力 kW	110	-
	定格出力 kW	55	-
	種別	IPMSM ^{※2}	-
発電用モータ	定格出力 kW	75	-
	種別	IPMSM ^{※2}	-
バッテリー	エネルギー容量 kWh	16.2	-
	種別	ニッケル水素	-

※1.発電専用
※2.埋込磁石同期電動機

行はもとより、ステアリングやブレーキの油圧も発生させている。エンジン以外の車両機器構成を従来どおりとしたことにより、ベース車両からの変更を最小限にとどめ、開発期間とコストを抑えることができた。

モータ、インバータやバッテリーなどの機器は空冷仕様であるが、これらは電子機器のため雨や雪は故障の原因となる。そのため、機関室は密閉構造とし、前面の冷却空気の吸気口にはフィルターを設置して、雨や雪をシャットアウトする構造とした。発電用エンジンのファンによる空気流が、駆動・発電用モータ、各インバータを冷却したあと機関室最後部のラジエータを通過して外部に放出される。

バッテリー室については熱のこもりを防止するため、吸気口近くの電動ファンからダクトを通して冷却風を送り込む構造とした。

5. ハイブリッドシステムの概要

(1) 機器構成

図-5に開発車両の機器構成を示す。

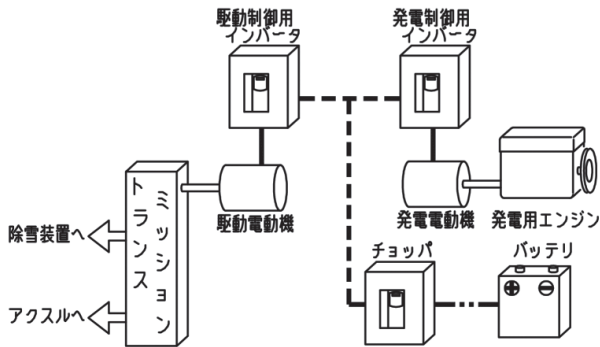


図-5 ハイブリッドシステムの構成

ハイブリッドシステムには、エンジンの動力と駆動用モータの動力が機械的に分離されているシリーズ方式を採用した。この方式は、駆動用モータの負荷条件にかかわらず発電用エンジンの負荷と回転数を任意にコントロールできることが最大のメリットである。このため、エンジンを高効率で運転できる時間を飛躍的に伸ばすことができる。このエンジンには従来機の約110kWのディーゼルエンジンに替えて70kWのものを採用し、小型化によって不足するパワーは大容量バッテリーでアシストしている。加えて、回生システムやアイドルストップ機能を搭載することで、さらに燃費の向上を図った。

また、駆動用モータと発電用モータには埋込磁石同期モータを採用し、インバータと組み合わせて制御することで高効率運転を実現した。前述のとおり、車両負荷の平均は35%程度にとどまることに着目し、駆動用モータには定格出力55kWのものを採用し、必要ときに過負荷運転することで、従来機同等の最大出力110kWを確保しつつ寸法、重量、価格の低減を図った。

車両全体の制御は従来通り車両コントローラが行い、回転数指令を受け取ったハイブリッドコントローラが各インバータとエンジンを制御する。ハイブリッ

ドコントローラは、回転数指令、必要駆動電力、バッテリー電力、充電量（以下SOC）、インバータの状態、モータ温度、エンジンの状況などの情報を複合的に判断し、各機器を制御する。

(2) システムの動作

(a) 車両停止時 図-6 (a)

SOCが規定値以下の場合、発電した電力をバッテリーに充電する。

(b) 負荷<最大発電量の時 図-6 (b)

SOCが規定値以下の場合、発電電力を駆動用モータの出力よりも多くなるよう制御し、余剰分をバッテリーに充電する。

(c) 負荷>最大発電量の時 図-6 (c)

発電電力を最大にし、不足分をバッテリーからアシストする。

また、SOCが既定値以上の場合、発電電力を下げ、バッテリーからの放電量を増やす。これにより燃料消費を低減する。

バッテリーの放電が続くSOCが制限値以下になった場合、過放電をしないよう駆動用モータの出力を制御する。

(d) エンジン停止時 図-6 (d)

開発車両では、SOCが十分なきオペレータが任意にエンジンを停止させ電気自動車として運用することが可能になっている。このとき駆動用モータの出力上限値は、バッテリーの許容出力に基づき制御される。

(e) 車両減速時 図-6 (e)

駆動用モータに逆トルクを発生させて運動エネルギーを回生し、バッテリーに充電する。

通常のハイブリッド車では、モータやバッテリーによって回生できる電力に制限がある。しかし開発車両では、シリーズハイブリッド方式と大容量バッテリーの

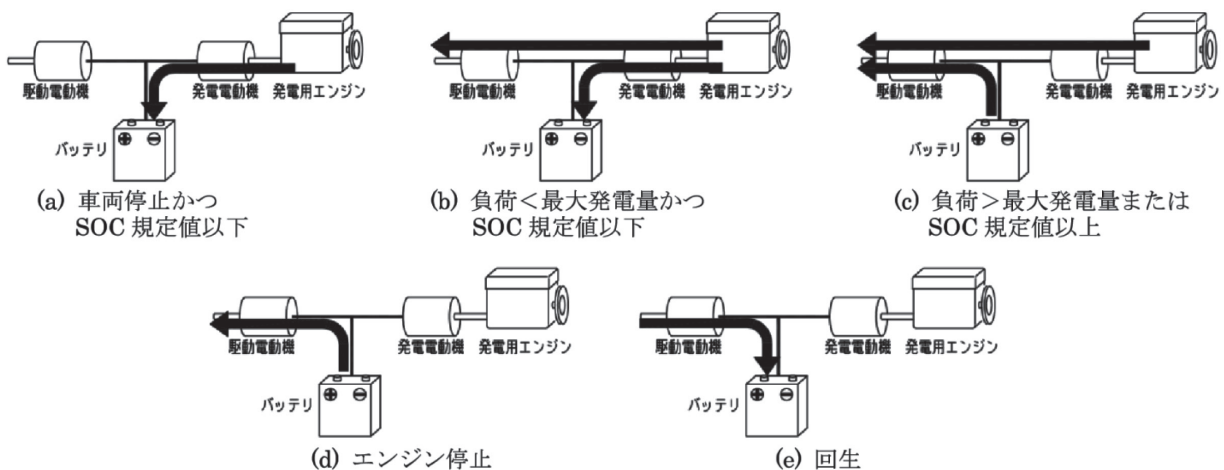


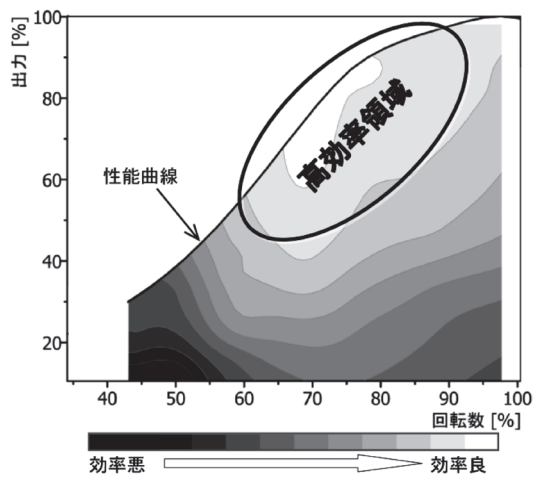
図-6 エネルギーの流れ

採用によりインバータとバッテリーの許容電力が大きく、運動エネルギーを最大限回収することが可能となっている。

ロータリ除雪車は、エンジン回転数を最大付近に固定しつつ、ごく低速で走行しながら除雪作業を行う。これを実現するため走行系に油圧ポンプとモータを組み合わせた油圧トランスミッション（HST）を採用している。開発車両では、このHSTと協調制御を行うことにより、さらに約5%回生電力をアップすることができた。

(3) エンジンの制御

エンジンの高効率制御を行うにあたり、回転数、出力と効率の関係を調べた。図一七に、車両搭載状態で実測した図を示す。



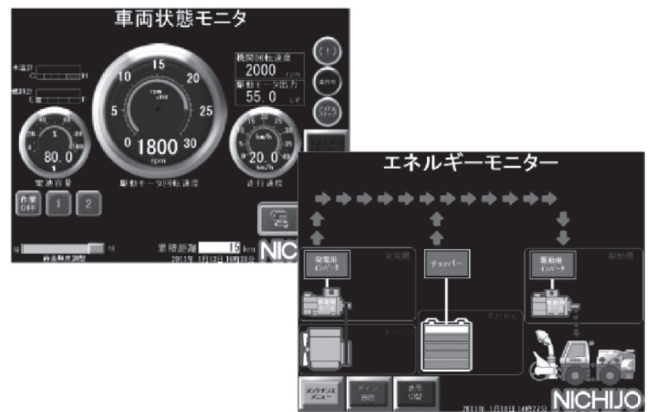
図一七 車両搭載状態でのエンジン効率

今回の構成の場合、任意の回転数においては高負荷の方が高効率で、特に丸で囲った領域において最良となることがわかった。これをもとに、必要な発電量から最適なエンジンの回転数を求め、常に全負荷運転になるよう制御している。

(4) モニタリングシステム

開発車両では、従来の機械式メータに代えて大型タッチパネル式モニターを採用し、表示内容を切替えることができるようにした。

図一八に表示画面の例を示す。画面上には、回転数、走行速度など従来のメータの内容に加え、駆動用モータ出力、バッテリー残量のほか、電力の流れをリアルタイムに確認できるエネルギーモニターを表示でき、車両の状態をいち早く正確に把握することができる。また、バックの際には後方カメラの映像を表示することができる。



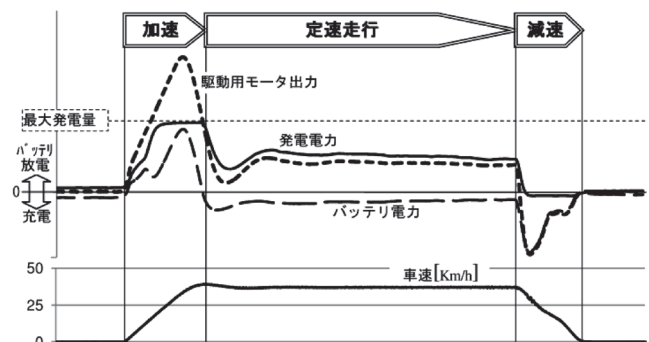
図一八 モニター表示画面

6. システムの動作と燃費削減効果

システムの動作と燃費削減効果を確認するため、回送を想定した走行試験を行った。

(1) システムの動作の確認

図一九は、回送時の駆動用モータ出力、発電電力、バッテリー電力の変化を示している。



図一九 電力の変化

加速中は、駆動用モータの出力が次第に上昇し、ついには最大発電量を超える。このとき、不足する分のパワーをバッテリーから放電することで、発電量のアシストをしている。

最高速度に達したあとは、駆動モータの出力は大幅に下がり、発電量に余裕が出る。このとき、アシストで使用した分の電力をバッテリーに充電するため、発電量が駆動用モータの出力よりも少し上回るよう制御して、余った電力を充電する。

減速時には、駆動用モータの出力をマイナスにすることで回生ブレーキをかけ、駆動用モータを回して発電した電力をバッテリーに充電する。

(2) 燃費削減効果

図一十に、従来車両を100としたときの燃料消費

率（燃料使用量÷放出エネルギー量）の比較を示す。開発車両では、エンジンの小型化と高効率運転により、従来車両よりも約37%の燃料消費率削減を達成することができた。

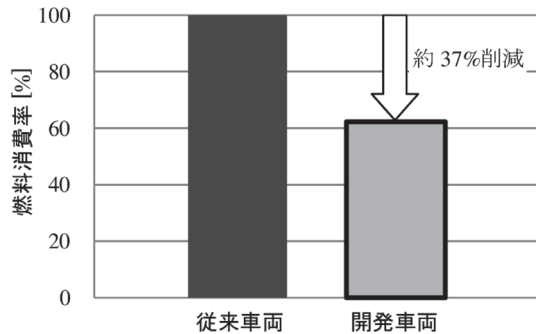


図-10 燃料消費率の比較

除雪作業時の確認試験は今後実施予定であるが、前述のとおり回送時と作業時の平均出力が大きく変わらないことから、作業時も同様の傾向になるものと考えられる。

(3) アイドリングストップ

走行試験の結果を基に開発車両のエンジンがアイドリングの時間を算出したところ、郊外では約25%、市街地では約40%にも上り、この間の燃料消費量を算出すると、全体の約1割に達することがわかった。現時点では、アイドリングストップの条件を検討中の

ため確認試験を行うには至っていないが、この機能の完成によってさらに大幅に燃料消費を抑えられる可能性がある。

7. おわりに

今回開発した小型ハイブリッドロータリ除雪車では、従来機と同等の最大出力を確保しつつ大幅な燃費向上を達成することができた。

今後、アイドリングストップ機能の詳細検討や最適なSOC管理方法の策定など、改善点も多いため、基本技術を完成させるとともに、さらなる燃費向上に向け開発を続ける予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 鹿見島昌之：ハイブリッドショベル SK80H, 建設の施工企画, 2011.1
- 2) 小川清光, 二橋謙介ほか：世界初のエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発, 産業車両, 2010.4
- 3) 内田喜康, 長坂一郎ほか：3.5トン積みエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発, 産業車両, 2010.4

【筆者紹介】

林 千尋（はやし ちひろ）
 (株)日本除雪機製作所
 技術部

